

Viabilité à moyen et long termes d'un système agraire villageois d'Afrique soudano-sahélienne. Le cas de Bala au Burkina Faso [Le cas de Bala au Burkina Faso]

Le cas de Bala au Burkina Faso

Bruno Barbier, Mr Michel Benoit-Cattin

Citer ce document / Cite this document :

Barbier Bruno, Benoit-Cattin Michel. Viabilité à moyen et long termes d'un système agraire villageois d'Afrique soudano-sahélienne. Le cas de Bala au Burkina Faso [Le cas de Bala au Burkina Faso]. In: Économie rurale. N°239, 1997. pp. 30-39;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1997.4866>

https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1997_num_239_1_4866

Fichier pdf généré le 08/05/2018

Résumé

La capacité des systèmes agraires africains à supporter des populations rapidement croissantes fait débat. Pour y contribuer, un modèle a été construit à l'échelle d'un village en zone cotonnière et utilisé de façon recursive. Le maximum de l'information disponible sur la zone a été incorporé. Les simulations mettent en évidence un seuil majeur avec la disparition des jachères et la nécessité de mettre en œuvre toute une gamme de techniques pour améliorer la gestion des sols et de la matière organique ; moyennant quoi, un régime de croisière pourrait être atteint avec quatre fois plus d'habitants mais un revenu par tête divisé par deux.

Abstract

Medium and long term viability of the agrarian system of a village in soudano-saheuan Africa. the case of Bala in Burkina Faso

Can african agrarian systems carry on rapidly increasing populations ? To contribute to this debate, a model has been built at the village level in the cotton zone and is used in a recursive way. The maximum of the available information on the zone has been incorporated. Simulations show a crucial threshold when fallow disappear and when it is necessary to combine different techniques for a better management of the soils and of the organic matter ; doing so, a permanent regime could be reach with four times more people but with half the revenue.

Viability à moyen et long termes d'un système agraire villageois d'Afrique soudano-sahélienne

Le cas de Bala au Burkina Faso

Le défi démographique est le défi majeur pour les agricultures et les ressources naturelles des pays d'Afrique sub-saharienne dont les disponibilités en terre deviennent de plus en plus limitées. Dans la zone soudano-sahélienne, le cas du Burkina Faso a déjà été discuté (Ruas et Benoit-Cattin, 1991) montrant que, à l'échelle du pays, la saturation de l'espace agricole était proche et qu'une amélioration d'ensemble de la productivité des sols était nécessaire.

On peut caractériser la diversité agricole du Burkina, d'une part par un gradient de pluviométrie – et donc de productivité potentielle – croissant du nord vers le sud, et, d'autre part, par une répartition de la population rurale non cohérente avec la productivité des milieux. Ces facteurs expliquent la dynamique démographique à l'œuvre en milieu rural : la population rurale continue à croître et des migrations se produisent depuis les zones relativement surpeuplées du Nord et du centre vers les zones moins peuplées et à meilleur potentiel agricole situées plus au sud. Ces zones favorables seraient ainsi menacées par une immigration élevée qu'alimente la réussite économique et sociale de la culture du coton.

Pour discuter plus en profondeur des mécanismes en jeu localement et des perspectives à moyen et long termes des systèmes agraires concernés, nous avons choisi de travailler à l'échelle des villages à partir du cas d'un village de la zone cotonnière suivi depuis plusieurs années par la recherche agronomique. Les connaissances techniques comme socio-économiques rassemblées sur ce village peuvent être mobilisées pour voir dans quelles conditions les techniques connues – mais pas forcément mises en œuvre par les paysans – seraient à même de permettre une exploitation des ressources permettant la vie d'une communauté villageoise plus nombreuse tout en préservant ces ressources naturelles. La construction et l'utilisation d'un programme linéaire sont au cœur de cette recherche sur la dynamique anticipée à moyen et long termes des systèmes agraires villageois. Les principaux enseignements dégagés doivent s'apprécier en tenant compte des options méthodologiques prises et des caractéristiques du modèle utilisé.

Options méthodologiques

Pour évaluer dans quelle mesure la croissance démographique menace l'avenir des agricultures des zones cotonnières, on ne peut pas se limiter à extrapoler des tendances mais on doit prendre en compte les nombreuses interactions entre des facteurs techniques économiques et sociaux jouant au sein des systèmes agraires et entre ceux-ci et leur environnement. Pour rendre compte de ces interactions, et les faire jouer sous différentes hypothèses, la programmation linéaire, technique bien connue des économistes agricoles, peut être utilisée.

1. Le système agraire villageois

Dans les zones étudiées, la conduite des activités agricoles concerne de nombreux niveaux imbriqués, depuis les individus jusqu'aux espaces régionaux en passant par les parcelles, les unités de production, les troupeaux, les terroirs, les lignages, les villages, etc. Une approche en termes de systèmes agraires est particulièrement appropriée.

Dans les travaux conduits dans notre groupe (Benoit-Cattin, 1991) on retient qu'un système agraire est le système constitué par trois grands éléments : un milieu naturel, le groupe social qui vit dessus et les techniques de mise en œuvre pratiquées. Un système agraire est ainsi à l'intersection d'un écosystème, d'un système social et d'un système technique.

Un système agraire n'aurait donc pas d'échelle imposée mais l'observation de ces interactions suppose une taille minimum qui correspond le plus souvent au village, d'où l'appellation de système agraire villageois. Ces différents points sont argumentés par Benoit-Cattin, Calkins et al. (1991). Les activités institutionnelles de recherche et de développement des systèmes de production ont d'ailleurs, de façon assez générale, retenu le niveau village comme niveau principal d'opération.

C'est à cette échelle que se manifestent et peuvent s'observer l'essentiel des interactions entre groupes et sous-groupes sociaux dans lesquels sont insérés les indi-

vidus, c'est à cette échelle que se gèrent et peuvent s'observer les relations de complémentarité et de concurrence entre les diverses activités d'exploitation des milieux : agriculture, élevage, agro-foresterie.

Un système agraire est ouvert sur l'extérieur et sa dynamique s'explique pour une large part par son adaptation à son environnement économique, climatique et institutionnel. La démographie est le principal ressort interne de cette dynamique à moyen et long termes car elle influe directement sur les besoins à satisfaire, la force de travail disponible et donc sur l'exploitation des ressources naturelles.

2. La notion de viabilité

Par sa double étymologie, la notion de viabilité nous semble appropriée pour analyser cette dynamique. En effet, viabilité renvoie, d'une part à la notion de chemin, d'itinéraire suivi et, d'autre part, à la notion de vie, d'aptitude à vivre. Discuter de la viabilité d'un système c'est discuter des chemins qu'il peut suivre pour survivre, perdurer, sans forcément se reproduire à l'identique. On le voit la notion de viabilité est plus riche que celle de durabilité retenue généralement comme traduction de la *sustainability*.

De plus, il existe des théories mathématiques de la viabilité (Aubin, 1995) probablement appelées à déboucher sur des outils opérationnels, mais, pour le moment, nous nous sommes contentés d'utiliser des outils plus classiques et mieux maîtrisés : le modèle principal est construit à l'échelle du village et utilise la programmation linéaire.

La programmation récursive

Débattre de viabilité à moyen et long termes nécessite d'explicitier les horizons temporels et les pas de temps considérés.

Dans la conduite d'un système agraire, les décisions sont prises avec des pas de temps et des horizons variables : au jour le jour, compte tenu de la conjoncture climatique, avant chaque saison de culture pour le choix des spéculations, sur plusieurs années pour les choix de matériels de culture ou de plantations d'arbres, etc. En première analyse, nous avons privilégié un horizon de temps annuel : la saisonnalité intra-annuelle est traitée de façon multipériodique et l'enchaînement des années est traité de façon récursive. Une solution est établie pour l'année initiale, correspondant à une année observée, ses résultats modifient le niveau de départ de certaines variables à partir duquel se fait une nouvelle optimisation et ainsi de suite pour autant d'années qu'on le désire. Le modèle étant optimisé chaque année traduit le fait que les paysans réagissent rarement avant que les problèmes apparaissent, qu'ils ont un comportement exclusivement adaptatif mais cela revient à leur prêter un

comportement particulièrement "myope" *a priori* paradoxal pour débattre de durabilité, de viabilité à moyen et long termes. Ce pas annuel a été maintenu car, on le verra, il fournit des indications intéressantes.

Signalons qu'une des façons d'éprouver la flexibilité et la robustesse du modèle a été de le laisser tourner sur de très nombreuses années et d'analyser les infaisabilités ou les paliers ou, au contraire, certaines oscillations : ceci a conduit à préciser certaines activités, à moduler certains paramètres, etc.

D'un point de vue pratique, un petit programme a été écrit pour piloter le logiciel de programmation linéaire, d'une part en récupérant les résultats de l'année t qui doivent être réinjectés pour l'année $t+1$, d'autre part en gérant les données exogènes, telles que la population et les prix, qui évoluent avec leurs propres règles et que l'on peut changer pour conduire différents scénarios.

1. La fonction objectif

La solution d'un programme linéaire est obtenue en maximisant (ou minimisant) une combinaison linéaire de certaines de ses variables. Cette fonction objectif est l'expression de l'objectif principal du système, d'autres sous-objectifs peuvent être introduits sous forme de contraintes. La fonction objectif est l'expression du critère de choix entre les activités alternatives au sein du modèle.

Compte tenu de la complexité et de la flexibilité des structures sociales, nous avons retenu une fonction unique pour tout le village. Autrement dit, nous n'avons pas distingué de types d'exploitations comme cela se fait parfois, d'une part car les limites entre exploitations ne sont pas strictes, d'autre part parce que l'accès aux ressources communes ne se gère pas au niveau des unités de production : il y a beaucoup de formes d'entraide pour le travail, l'alimentation n'est pas gérée aux mêmes niveaux que les productions végétales, celles-ci ne le sont pas comme les productions animales, selon leurs statuts les individus disposent plus ou moins de leurs revenus, l'accès au foncier est assez libre, etc. (Benoit-Cattin et Faye, 1982). La variable maximisée, année après année, est le revenu monétaire net de tout le village, une fois les besoins alimentaires de base en céréales couverts et le maximum d'animaux acquis. Le modèle se comporte comme le paysan qui, quand il a à choisir entre deux activités, préfère celle qui lui laisse espérer la marge monétaire la meilleure.

2. Le risque et la sécurité alimentaire

L'aversion au risque a été modélisée selon la méthode très classique du "target MOTAD" (Tauer, 1983) et calée sur l'année 1990.

La description de la gestion des céréales alimentaires tient compte de trois périodes du calendrier. Pour chaque période, les céréales disponibles peuvent être consommées, vendues ou stockées. Les besoins de consumma-

tion sont exprimés en kilos par habitant. Les ventes sont ajustées par le modèle aux éventuels problèmes de trésorerie. Si la production est insuffisante, il est possible d'acheter à l'extérieur : l'autofourniture n'est pas une obligation mais un choix économique dont le modèle rend compte (Benoit-Cattin, 1994).

3. La mobilisation des données

Les connaissances et paramètres utilisés se réfèrent principalement à un village spécifique de la zone étudiée. Nous avons retenu le village de Bala parce que notre collègue Guy Faure, qui y travaillait depuis un certain temps, a été intéressé par notre approche et nous a fait profiter de ses connaissances et de ses données. Des photos aériennes et des images satellites ont permis de quantifier les grands types de milieux et leur mise en valeur. L'établissement des coefficients techniques a mobilisé le maximum de sources (Barbier, 1994 ; Faure, 1994 ; Matlon et Fafchamps, 1988 ; Tersiguel, 1992). Toute une série d'entretiens, individuels comme collectifs, ont été conduits avec les paysans pour mieux saisir leurs objectifs, leurs contraintes, leur logique et pour leur soumettre certains des résultats des simulations. Ces entretiens ont été extrêmement riches et auraient mérité d'être systématiquement enregistrés pour une exploitation plus complète.

4. Le recours aux modèles biophysiques

Le recours aux données empiriques n'est pas suffisant pour établir les coefficients agronomiques du modèle : certaines données ne sont pas cohérentes, certaines n'ont pas été observées, ou trop peu, d'autres ne sont pas observables car elles sont hypothétiques. Pour contourner ces difficultés, les économistes agricoles ont depuis plusieurs années recours aux modèles biophysiques. Le plus apprécié des économistes est le modèle EPIC déjà présenté dans cette revue (Vicien, 1991) et ailleurs (Williams, 1989, Benoit-Cattin, 1990, Deybe, 1994). Nous nous sommes servis d'EPIC pour établir les coefficients agronomiques des fonctions de production de chaque culture, selon le niveau d'engrais, de matière organique, le type de sol et sa dégradation.

Dans l'ensemble, compte tenu des objectifs de la recherche, nous avons cherché à construire un modèle assez réactif. Ainsi, par exemple, dès que les restitutions ne sont pas adéquates, la matière organique baisse et, l'année suivante les rendements et, l'année d'après les paysans ajustent leur système en conséquence. Dans la réalité ces processus peuvent être moins rapides ne serait-ce que parce que l'instabilité climatique introduit une certaine variabilité des résultats qui rend moins perceptibles les effets de la dégradation.

5. La taille du modèle de programmation

Le modèle de base s'est progressivement développé au fil de la recherche, la version ayant servi à établir les résultats présentés ici, dans une écriture algébrique,

nécessite 59 variables, 59 coefficients, 14 indices et 51 équations. La matrice générée compte 502 lignes, 555 colonnes et 1990 coefficients non nuls. A une présentation de l'ensemble du système d'équations qui dépasserait la taille de ce texte, nous avons préféré un exposé plus discursif présentant les caractéristiques du système agraire prises en compte et son fonctionnement tel que modélisé.

Le système agraire de Bala et la modélisation de son fonctionnement

1. Le village

Bala se trouve au cœur du bassin cotonnier de l'ouest du Burkina Faso (au nord-est de la ville de Bobo Dioulasso) dans la province du Houet dont la densité rurale était estimée à 24 habitants par km² en 1990.

En 1985 la population officiellement recensée à Bala était de 2 232 habitants pour un territoire évalué par télédétection et photo interprétation à 10 000 hectares dont 2 500 cuirassés.

Pour le modèle, quatre unités de paysage ont été retenues :

- les bons sols (2 950 ha),
- les sols marginaux (2 000 ha),
- les sols non cultivables (2 500 ha),
- les bas-fonds (400 ha).

Trois grands groupes sociaux peuvent être distingués à l'intérieur du village : les agriculteurs autochtones, les immigrants et les pasteurs. Pour nous, les différences de pratiques agricoles entre les groupes ne sont pas à caractère ethnique mais liées à l'inégal accès aux ressources : les allochtones derniers arrivés doivent se contenter des sols en pente voire des zones épuisées, ce sont donc eux qui seront incités à émigrer les premiers ; les pasteurs, quant à eux, existent aussi longtemps que l'élevage extensif est possible et justifié, sinon, ils migrent.

Sur les sols dits marginaux, les rendements sont légèrement inférieurs et la profondeur peut devenir limitative. Les bas-fonds servent actuellement de pâturage de saison chaude mais ils peuvent être cultivés en riz moyennant un investissement en travail ou en mécanisation important.

2. Croissance démographique et migrations

Dans le modèle, entre chaque récursion, la croissance de la population se fait selon la théorie de la transition démographique, c'est-à-dire à un taux annuel décroissant et tendant vers 0 dans une quarantaine d'années. L'immigration peut accélérer la croissance démographique locale ou, si nécessaire, l'émigration peut la ralentir ou l'arrêter.

Comme la tradition d'accueil est forte dans ces régions, le modèle arrêtera l'immigration quand il n'y aura plus de terre cultivable disponible, mais son niveau annuel est limité au prorata de la population locale pour exprimer un certain contrôle social.

Pour ce qui est de l'émigration, nous avons considéré qu'un individu qui consomme plus qu'il ne produit devra quitter le village, mais cela est tempéré par un coût d'opportunité de l'émigration définitive supérieur pour l'autochtone, les immigrants émigrant plus facilement que les autochtones.

La migration saisonnière est également possible, vers les villes ou les plantations des pays côtiers et est source de revenus.

3. Le calendrier

Le modèle distingue trois périodes : la saison de culture, la période des récoltes et la saison sèche de relative inactivité.

Pour pouvoir explorer la viabilité technique du système agraire, il faut, en premier lieu, que le modèle rende compte du champ du possible technique : la diversité des milieux et des techniques actuelles doit être représentée et élargie aux techniques envisageables, souvent déjà testées dans ces types de milieu ; il faut, pour que le système puisse s'ajuster de façon récursive, que les interactions entre les techniques et leurs effets sur les milieux soient également prises en compte.

4. Le système de culture

Cinq cultures sont possibles : le coton, le sorgho, le maïs, le riz pluvial et le riz irrigué. Pour chaque culture le rendement dépend du type de sol et du niveau des intrants (semences, engrais et pesticides). Chaque tonne de matière organique apportée améliore le rendement en fonction de son type (fumier, compost, poudrette de parc, paille enfouie). Inversement, l'enherbement, une profondeur de sol insuffisante, un taux de matière organique trop faible réduisent les rendements.

Dans l'écriture algébrique du modèle la fonction de production (I) correspondante est de la forme

$$\sum_{i=1}^I \text{TPROD}_{c,i,s} = \text{avgy}_{c,i,s} \cdot \text{CROP}_{c,i,s} + \text{niteff}_{c,d} \cdot \text{NITRO}_{c,s} - \sum_{e=1}^E \text{coll}_{c,e} \cdot \text{OMDEF}_{c,e,s} - \sum_{e=1}^E \text{soilp}_{c,e} \cdot \text{ROOTS}_{c,s,e}$$

où les variables sont :

TPROD production de la culture c en kg ;
CROP la superficie de la culture c en ha ;
NITRO l'azote organique en tonne par ha ;
OMDEF le déficit en matière organique en tonne ;
ROOTS le volume de sol exploré par les racines.

Les indices sont :

c, la culture ; i, le niveau d'intensification ; s, le type de sol ; d, le seuil de déficit ; e, le niveau d'application de matière organique.

Les coefficients sont :

avgy(c, i, s), moyenne des rendements par hectare pour les années antérieures ;

niteff(c, d), effet de l'azote organique sur le rendement ;

coll(c, e), baisse de rendement due au déficit de matière organique ;

soilp(c, e), baisse de rendement due à la perte de sol.

Les données observées ne permettent pas d'établir tous ces coefficients agronomiques et le recours à un modèle du type EPIC est nécessaire.

La complexité agronomique du modèle rend également possible l'acquisition des charrues ce qui réduit les temps de travaux, améliore les rendements mais accélère la minéralisation de la matière organique. Le sarclage en traction animale améliore le contrôle des adventices et donc les rendements. Des billons peuvent améliorer les rendements mais demandent du travail ; ce travail peut être réduit en culture attelée. Diguettes et haies peuvent limiter l'érosion et améliorer les rendements. Ces techniques d'intensification ont déjà été expérimentées voire vulgarisées dans le milieu mais sont peu ou pas mises en œuvre ; en les rendant possible dans le modèle on est à même de mieux comprendre la logique de leur adoption éventuelle.

5. Les ressources naturelles et leur gestion

La base de ressources prise en compte concerne le bois, les fourrages et les sols. Le bois est évalué en volume ; les sols sont décrits en termes de profondeur, de taux de matière organique et d'enherbement ; les fourrages sont évalués en unités fourragères (UF). Pour les ressources comme le bois et les sols, on établit une balance annuelle entre un stock initial et l'évolution naturelle, les actions humaines de prélèvement ou d'apports pour évaluer un stock final (qui sera le stock initial de l'année suivante dans un processus récursif).

$$\text{RN}(t) \cdot \text{CN}(t) + \text{AH}(t) - \text{DH}(t) - \text{DN}(t) = \text{RN}(t+1)$$

RN = Ressource Naturelle

(ex : profondeur du sol, volume de bois, quantité de fourrage)

CN = taux de Croissance Naturelle

AH = Amélioration Humaine (ex : plantation, restauration des sols)

DH = Dégradation Humaine (ex : exploitation, surpâturage)

DN = Dégradation Naturelle (ex : minéralisation de la matière organique, érosion)

t = année

Chaque année, sur les terrains en pente, l'érosion diminue la profondeur des sols mais il peut y avoir pédogénèse. Les activités de culture et de pâturage augmentent cette érosion de base. Si la profondeur du sol devient

insuffisante, il y a des problèmes d'enracinement et la réponse aux engrais diminue comme cela apparaît dans la fonction de production (1). Le modèle peut alors retenir la construction de cordons pierreux ou la plantation de haies pour réduire l'érosion. Ces deux activités sont peu coûteuses en argent mais exigeantes en travail pour les mettre en place puis pour en assurer l'entretien annuel. Les terrains en pente peuvent être abandonnés lorsqu'ils sont trop érodés.

Pour ce qui est de la matière organique, sa minéralisation diminue le stock initial. L'apport d'azote, le labour et l'érosion accroissent le taux de minéralisation. Quand la teneur en matière organique atteint un seuil critique, différents problèmes agronomiques surgissent et les rendements baissent. La résistance des cultures à l'acidification est également prise en compte selon des seuils spécifiques.

Le modèle peut choisir différentes techniques et différents niveaux de fertilisation organique pour réduire le déficit. Ces activités consomment du fumier et des résidus de récolte. Les arbres poussant dans les champs contribuent également au maintien de la matière organique.

La susceptibilité à l'enherbement augmente comme le ratio de la surface cultivée par rapport à la surface cultivable. Dans le modèle cela peut conduire à augmenter le travail de désherbage, à utiliser des désherbants chimiques ou à acquérir des outils de sarclage compte tenu des exigences différentes de ces activités en travail et en argent. L'application d'herbicide améliore directement les rendements en empêchant l'apparition des adventices. L'acquisition d'outils attelés permet de réaliser des petites levées de terre qui contribuent en plus à réduire l'érosion.

6. Les jachères

Quand ils ne sont pas cultivés, les sols cultivables sont en jachère. Selon leur durée il y a plusieurs types de jachères. Les jachères les plus anciennes portent plus de bois, ont un taux de matière organique plus élevé mais produisent moins de fourrage à cause du couvert arboré. Les jachères les plus jeunes produisent le moins en tout, et les jachères intermédiaires produisent plus de fourrage que de bois. Chaque année, une fraction de chaque zone en jachère passe dans la classe plus âgée. Quand une jachère est mise en culture cela consomme du travail mais améliore le bilan organique de la zone et produit du bois pour la consommation.

7. La gestion du bois

Au début, les stocks de bois varient selon les zones. Les jachères âgées sont assimilées à une savane arborée et les zones non cultivables ainsi que les jachères jeunes ont des stocks très faibles. De plus chacune des quatre unités de paysage a une productivité en bois spécifique. Les zones cultivables ont une productivité potentielle supérieure à celle des zones marginales à cause de la profondeur du sol.

Deux activités traditionnelles d'agroforesterie correspondent aux deux espèces d'arbres que les paysans maintiennent dans les parcelles : le karité (*Butyrospermum paradoxum*) qui produit des noix pouvant être vendues ; le kade (*Acacia albida*) au pied duquel le rendement est supérieur. Dans le modèle, ces arbres peuvent être plantés, ils ont une croissance annuelle et certaines branches peuvent être coupées. Ils contribuent à la fertilité, peuvent être utilisés comme fourrage et peuvent être abattus.

L'eucalyptus est une activité possible, il est très productif en bois mais ne contribue pas à la fertilité. On peut aussi planter des haies sur les sols marginaux mais leur productivité en bois est faible.

La masse initiale de bois croît naturellement en fonction de la productivité de chaque unité de paysage. Ce volume est réduit par le défrichement d'une parcelle, quand le bois est coupé pour la consommation humaine et lorsque la densité animale augmente. La consommation humaine de bois est fonction de la population, de la fabrication de bière locale et de la taille du troupeau pour la construction d'enclos. Le bois peut également être vendu à l'extérieur.

8. Les élevages

On peut distinguer quatre types d'élevage dans le village : l'élevage transhumant, l'élevage intensif, les bovins de trait et les ânes. Le troupeau transhumant sort du village pendant la saison des pluies.

Les effectifs sont convertis en équivalent d'unité de bétail tropical (UBT) et chaque UBT consomme des unités fourragères, de l'eau, des dépenses de santé et du temps de gardiennage. La croissance du troupeau est une combinaison de gain de poids, de veaux et de décès. Si cela est économiquement justifié, le modèle peut acheter des animaux ou en vendre. La vente des animaux de réforme est automatique. L'autoconsommation de viande n'a pas été quantifiée.

Les bovins de trait proviennent du troupeau et peuvent être achetés à l'extérieur si nécessaire.

Des effectifs animaux importants dégradent les pâturages. D'une année à l'autre, la productivité des parcours peut changer compte tenu de l'évolution de la densité animale, si celle-ci dépasse la capacité de charge, la production en fourrage sera réduite. La culture de plantes fourragères peut servir à réduire la pression sur les pâturages naturels ; inversement, le broutage des pentes accroît l'érosion ce qui réduit la production fourragère.

9. L'alimentation des animaux

L'herbe pousse dans la zone non cultivable et dans les différents types de jachère. Des cultures fourragères (*stylosanthes*, *panicum*, *siratro*) sont possibles sur les bons sols. Des compléments fourragers proviennent des arbres et des résidus de récoltes. La complémentarité du

fourrage par des concentrés améliore la croissance du troupeau. Ils peuvent être achetés (comme les graines de coton) ou autofournis (sorgho et maïs).

La production varie selon les périodes. Les pâturages sont plus productifs pendant la saison des pluies et lors des récoltes, et moins durant la saison chaude et la saison sèche. Les pâturages de bas-fonds sont disponibles pendant la saison chaude. Des reports partiels sont possibles d'une période à la suivante. Si le fourrage est laissé sur place, les pertes sont plus importantes qu'avec fanage. Les résidus de récolte sont disponibles durant les deux saisons sèches mais leur qualité se dégrade et d'autant plus qu'ils sont mal stockés. Comme le fanage, l'activité de stockage des résidus est exigeante en travail et transport. L'amélioration des pâtures est possible par l'apport d'engrais ou par leur mise en enclos, mais ces deux activités sont coûteuses en temps et en argent.

La modélisation du système technique rend compte des interactions et des rétroactions entre activités complémentaires et concurrentes. Le choix entre toutes ces alternatives est fait par les paysans compte tenu de leurs préoccupations économiques et sociales, dans le modèle il est fait, compte tenu de la fonction objectif et des contraintes introduites pour rendre compte de ces préoccupations.

Les simulations

Pour explorer la viabilité à moyen et long termes du système agraire de Bala, à partir de l'année 1990, nous avons d'abord fait tourner le modèle pour un scénario de base, puis différentes variantes ont été faites pour tester la robustesse du modèle, sa logique interne. On peut ainsi tester la stabilité du chemin, voir si certaines bifurcations peuvent apparaître.

Les prix sont fondamentalement exogènes mais pour reproduire les effets d'une éventuelle saturation de la demande, au-delà d'un certain volume de production le prix de vente baisse, notamment pour le maïs dont on peut craindre une saturation du marché local. Cette demande en céréales est supposée suivre la croissance de la population urbaine.

Les prix des engrais sont supposés croître légèrement d'une année à l'autre pour traduire une rareté et/ou un coût d'extraction croissant au niveau mondial. Le scénario de base retient une tendance à la hausse des prix des intrants de 1 % par an et tient compte des effets de la dévaluation de 50 % du franc CFA en 1994.

Les variantes faites ont porté sur l'existence ou non des migrations, les prix relatifs des facteurs et produits, l'impact du coton, les effets des contraintes de fertilité.

La validité du modèle a été appréciée en premier par sa capacité à reproduire la situation initiale telle qu'observée sur le terrain en 1990, puis par la comparaison des

solutions, des tendances avec des observations faites ailleurs, essentiellement dans des contextes plus densément peuplés.

1. Deux grandes périodes

Le scénario de base et les variantes proposent tous un schéma d'évolution en deux grandes phases. Tout d'abord, tant que toutes les bonnes terres ne sont pas cultivées, le système actuel se poursuit, jusque vers l'an 2000, avec immigration et extension des surfaces cultivées par réduction des jachères. Les changements dans l'assolement et dans les techniques mises en œuvre, en liaison avec la croissance de la population, se révèlent à même de maintenir le niveau de revenu par tête. La durée de cette première phase dépend essentiellement de la croissance démographique et donc du rythme de l'immigration. Dans le modèle ce rythme peut être paramétré, dans la réalité il dépend de nombreux facteurs socio-économiques et politiques locaux comme nationaux.

La deuxième phase débute lorsque tous les bons sols sont en culture continue et que les sols marginaux, jusqu'alors maintenus en jachère, sont mis en culture. Ceci permet à l'immigration de se poursuivre encore quelque temps, et on sait que les migrants acceptent de s'installer sur ces sols. Mais, compte tenu des contraintes technico-économiques du système, la culture de ces sols est faite de façon minière, ils se dégradent et doivent être progressivement abandonnés. Puis l'immigration s'arrête, et, au bout de quelque temps, les migrants sont incités à repartir, à émigrer plus loin.

Cet enchaînement correspond tout à fait à ce qui a été observé au Sénégal dans les années soixante-dix au sein du projet des "Unités expérimentales", zone d'immigration au début de l'opération devenue zone d'émigration avec dégradation des zones marginales en une douzaine d'années (Benoit-Cattin, 1986). Plus récemment, un document (FAO, 1996) fait la synthèse des connaissances sur la dynamique des systèmes agro-pastoraux en Afrique soudano-sahélienne et fait état de choix techniques, d'attitudes des producteurs tout à fait identiques à ceux que simule le modèle.

Les solutions du modèle permettent de discuter plus en détail de ce qui peut se passer et de l'illustrer avec des graphiques ayant les années en abscisse.

2. Le système de culture

Le graphique 1 montre comment l'importance relative des divers modes d'exploitation des différents types de milieu évolue au fil des ans.

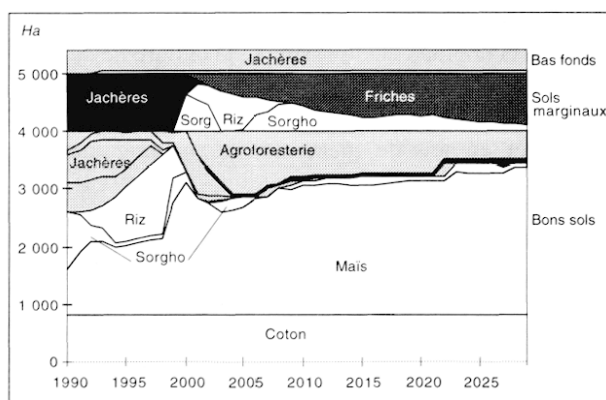
Pour ce qui est des jachères, elles disparaissent d'abord dans la zone des bons sols, puis dans celle des sols marginaux. Dans cette zone, les producteurs sont incités à pratiquer une agriculture minière et doivent progressivement abandonner les champs qui retournent à l'état de

friches. Dans la zone des bons sols, la mise en culture continue est en partie possible par le recours à l'agroforesterie, par l'implantation de parcs arborés.

Pour ce qui est des cultures, le maïs est la culture la plus performante et tend à se substituer aux autres sur les bons sols ; l'incertitude sur les prix ainsi que les besoins d'avances importants pris en compte par des contraintes spécifiques ne limitent pas son extension. Le sorgho tend à se réduire au niveau requis par la fabrication de bière locale (il n'est pas exclu qu'en réalité il puisse se maintenir à un niveau supérieur pour des raisons de préférences alimentaires). D'après le modèle, pendant la première phase, la réduction des jachères est compensée par l'extension du riz pluvial ; cela est plausible car cette culture était importante dans la région, il y a une dizaine d'années, avant l'extension du coton.

Pour ce qui est du coton, son importance est directement liée aux quantités de semences distribuées et son maintien face au maïs dépend essentiellement du soutien dont il bénéficie (facilités de crédit, débouché garanti, prix incitatif...).

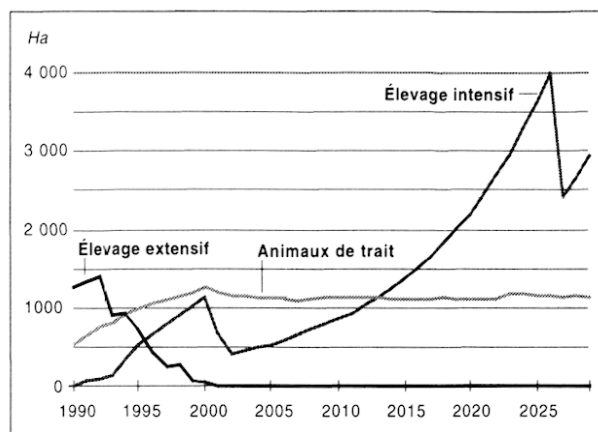
Graphique 1. Évolution du système de culture



3. Les systèmes d'élevage

Pour ce qui est des élevages, le troupeau extensif se réduit et disparaît avec les jachères en fin de première phase, les bovins de trait s'accroissent pendant la première phase et se stabilisent ensuite, le troupeau intensif tend à croître dans la limite des ressources alimentaires et des capacités d'épargne des paysans. Les effectifs doivent être réduits avec la disparition des jachères, à la fin de la première phase, pour être ensuite progressivement reconstitués. Cette fin de première phase est une crise importante pour le système d'élevage et, en corollaire, pour la gestion de la fertilité. Si les solutions techniques et sociales pour le développement régulier de l'élevage intensif ne sont pas trouvées par les paysans, un processus de dégradation des sols s'engage comme cela a été malheureusement observé dans de nombreuses situations (graphique 2).

Graphique 2. Évolution des systèmes d'élevage

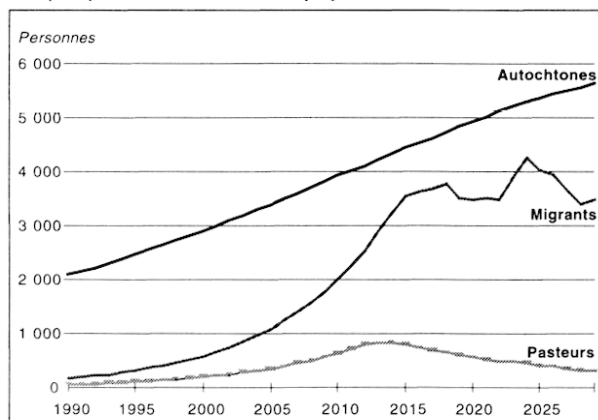


4. La croissance démographique

Par rapport à la problématique initiale du défi démographique, les résultats du modèle seraient assez rassurants (graphique 3).

Tout d'abord le système agricole de Bala serait tout à fait à même de soutenir techniquement et économiquement la croissance de la population autochtone et d'accueillir une population quatre fois plus nombreuse. Si le système technique s'adapte comme le propose le modèle, l'immigration peut se poursuivre à un rythme élevé, jusqu'à ce que la population autochtone ne représente plus que 50 % de la population totale (vers 2015 dans le scénario de base). Tel qu'est écrit le modèle, les pasteurs seraient les premiers à émigrer au fur et à mesure de la réduction du troupeau extensif, suivis ensuite par les immigrants. Les autochtones ne seraient pas obligés d'émigrer définitivement pour assurer la viabilité du système agricole, le pallier démographique pourrait être atteint avant que le système technique n'atteigne ses limites.

Graphique 3. Croissance des populations

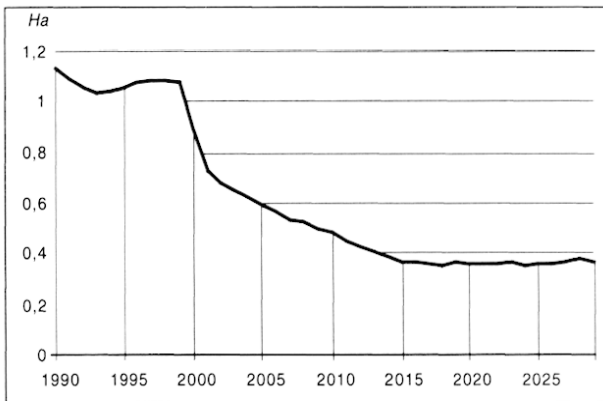


5. Les résultats économiques

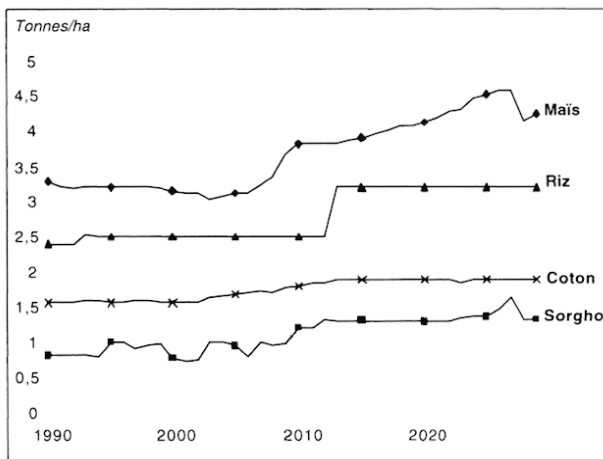
La croissance de la population se traduit par une baisse des superficies cultivables par personne de 1 ha en début de période à 0,4 vers la fin (graphique 4).

Cette baisse des superficies est compensée par une amélioration des rendements variable selon les cultures compte tenu des marges de progression escomptables (graphique 5).

Graphique 4. Décroissance des superficies par personne



Graphique 5. Progression des rendements



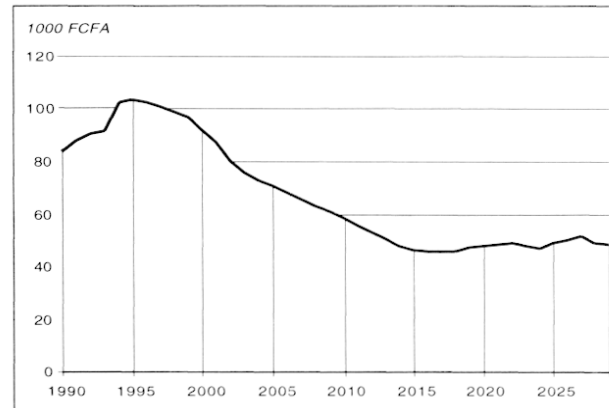
Les progrès dans les rendements par le recours aux engrais, à la fumure organique et à de meilleures techniques culturales, effectif dans le modèle dès qu'économiquement justifié et techniquement possible, serait de l'ordre de 50 % pour les céréales et 30 % pour le coton.

Les alternatives techniques étant supposées toutes connues au début des simulations, les changements techniques, les premières innovations correspondent à un certain rattrapage technique qui permet une amélioration des revenus *per capita* les premières années, jusqu'au seuil de la saturation foncière. Ensuite les innovations ne peuvent que maintenir ou ralentir la baisse de la rémunération par tête, qui se stabiliserait à la moitié de son niveau initial (graphique 6).6. La viabilité agro-écologique

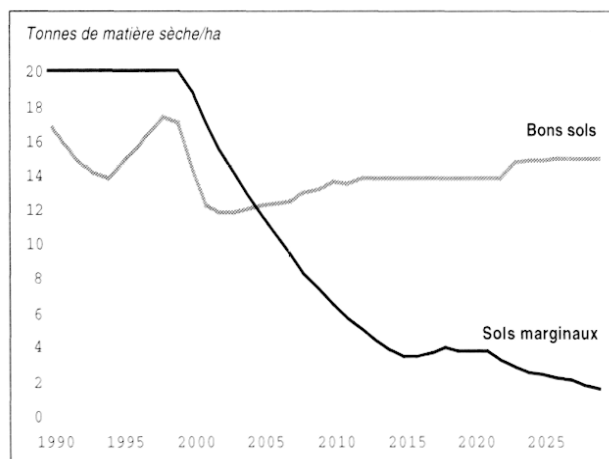
La viabilité agro-écologique du système est fondamentalement régulée par la teneur en matière organique des sols (graphique 7). Sur les bons sols le système recherche un taux d'équilibre. Par contre, sur les sols marginaux, leur exploitation minière se traduit par une baisse continue de ce taux jusqu'à leur abandon.

Le fumier produit par un troupeau aux effectifs croissants joue un rôle croissant dans le maintien de ce stock (graphique 8). Dans un premier temps, le complément provient des jachères qui jouent un rôle clé puis sont relayées par un système plus agro-forestier.

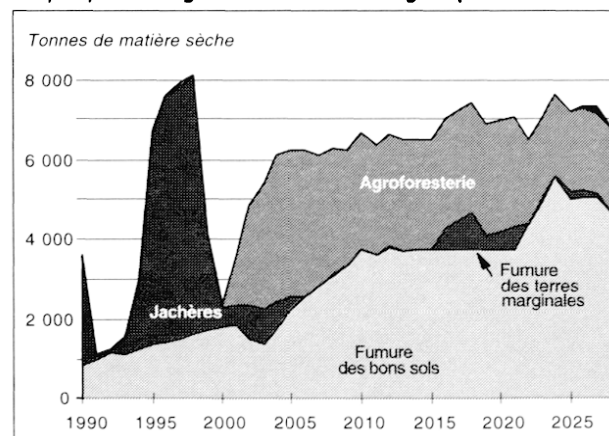
Graphique 6. Baisse des revenus par tête



Graphique 7. Dynamique de la matière organique

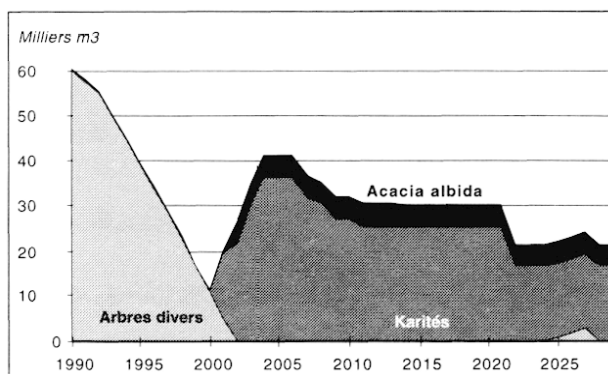


Graphique 8. Origines de la matière organique



La nature du stock de bois évolue comme corollaire de ces modes de restauration de la fertilité, initialement il est porté par les jachères de longue durée auxquelles se substitue un parc arboré à base de karités et d'acacia albida (graphique 9).

Graphique 9. Les ressources en bois



CONCLUSIONS

Une fois de plus, l'outil programmation linéaire s'avère efficace pour traiter du fonctionnement et de la dynamique de systèmes assez complexes dans lesquels interfèrent de nombreuses activités complémentaires et concurrentes. Les simulations faites et les graphiques illustrant les résultats montrent que, bien que linéaire, la programmation mathématique peut servir à simuler des processus soit instables soit convergeant vers une certaine stabilité.

La logique fondamentale modélisée est qu'en l'absence d'inventions techniques, la croissance démographique déclenche bien des processus d'innovations mais que ceux-ci ne peuvent que ralentir la baisse des revenus, si non, ces innovations auraient déjà eu lieu. Pour ce qui est des techniques agronomiques, il est difficile d'en imaginer de nettement plus efficaces que celles envisagées et susceptibles de modifier le processus simulé.

Par rapport à la problématique de développement de la zone étudiée, on retiendra que le modèle permet d'établir que les tendances actuelles pour la démographie et les modes d'exploitation des milieux ne conduisent pas nécessairement à une impasse. La modélisation des techniques connues de gestion de la matière organique permet de concevoir un système viable à moyen et long termes. Pour ce qui est du court terme, il se trouve démontré que si les paysans ne mettent pas actuellement en œuvre certaines techniques permettant une productivité plus élevée des sols, c'est parce qu'elles ne sont pas justifiées d'un point de vue simplement technico-économique. Les simulations récursives montrent que la mise en œuvre progressive de ces techniques devient justifiée tout d'abord pour préserver la rémunération des paysans et ensuite pour maintenir les performances agronomiques du système.

Dans la pratique les actions de développement agricole devraient donc avoir pour souci de faire connaître ces techniques, de les mettre en démonstration en anticipant sur la logique de leur mise en œuvre telle que démontrée par la modélisation et validée par des observations de terrains.

Ce qui est déterminant dans la dynamique du système c'est avant tout la variable démographique et plus particulièrement les migrations. Dans leur régulation, la puissance publique a certainement un rôle à jouer notamment par une politique d'aménagement du territoire.

D'un point de vue économique, pour ce qui est des prix relatifs des produits et des facteurs, les variantes faites montrent que leurs variations modifient assez peu le chemin suivi, mais, bien sûr, affectent la rémunération du travail avec les conséquences que cela peut avoir sur l'exode agricole.

Bruno BARBIER • IFPRI Washington DCI

Michel BENOIT-CATTIN • CIRAD Montpellier

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubin J.-P. *Une métaphore mathématique de l'évolution économique : la "théorie de la viabilité" à Dauphine*. In Paris-Dauphine vingt cinq ans de sciences d'organisation. C. L. Pen Ed. Paris, Masson, 1995, pp. 326-352.
- Barbier B. *Modélisation agronomique et économique de la durabilité d'un système agraire villageois*. Thèse en Agro-économie. Montpellier, École Nationale Supérieure d'Agronomie, 1994, 329 p.
- Benoit-Cattin M., Faye J. *L'exploitation agricole familiale en Afrique soudano-sahélienne*. Presses Universitaires de France, Paris, 1982.
- Benoit-Cattin M. (dir). *Recherche et développement agricole : les unités expérimentales du Sénégal*. Montpellier, CIRAD.
- Benoit-Cattin M. *Essais de modélisation mathématique de systèmes agraires et systèmes de culture tropicaux*. In Recherche opérationnelle et développement, Montpellier, 1990, GIS ACCT Agropolis.
- Benoit-Cattin M., Ed. *Dossier : modélisation des systèmes agraires et ruraux*. Les Cahiers de la Recherche Développement n° 29, Montpellier, 1991.
- Benoit-Cattin, M. (1994). *Logiques paysannes et modélisation des systèmes productifs : l'autofourniture alimentaire en question*. In Économie des politiques agricoles dans les pays en développement : les fondements micro-économiques. M. Benoit-Cattin, M. Grifon and P. Guillaumont Eds., Paris, Revue française d'économie, vol 3, pp. 345-356.
- Benoit-Cattin M., P. Calkins et al. (1991). *Perspectives de la modélisation des systèmes agraires villageois : l'exemple des régions cotonnières du Mali*. Les Cahiers de la Recherche-Développement, n° 29, pp. 14-29.
- Deybe D. *Vers une agriculture durable : un modèle bio-économique*. CIRAD, Paris, 1994.
- FAO. *L'évolution des systèmes de production agropastorale par rapport au développement rural durable dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*. FAO Ed., Rome, 1996.
- Faure G. *Mécanisation et pratiques paysannes en région cotonnière au Burkina Faso*. Agriculture et développement, 1994, n° 2, pp. 3-14.
- Matlon P.-J., M. Fafchamps. *Crops budgets for three agroclimatic zones of the West African semi-arid tropics*. ICRISAT, Hyderabad, 1988.
- Ruas J.-F., M. Benoit-Cattin. *Modélisation technico-démographique des futurs alimentaires du Burkina Faso*. Les Cahiers de la Recherche Développement. Dossier : modélisation des systèmes agraires et ruraux, 1991, n° 29, pp. 1-13.
- Tauer L. *Target MOTAD*. American Journal of Agricultural Economics, 1983, 65.
- Tersiguel P. H. *Boho-Kari, village Bwa : les effets de la mécanisation dans l'aire cotonnière du Burkina Faso*. Thèse de Géographie. Nanterre, Paris X, 1992, 507 p.
- Vicien C. *Les modèles de simulation comme fonctions de production*. Économie rurale, 1991, n° 204, p. 46.
- Williams, S. *The Erosion Productivity Impact Calculator - EPIC*. Texas USA, USDA Agricultural Research Service ; Grassland, 1989.

**Vient
de
paraître**

Notes et études économiques février 1997, n° 3

- ♦ Évaluation économique des politiques agricoles
- ♦ Les concours publics à l'agriculture américaine
- ♦ Les aides des collectivités locales à l'agriculture

MAPA, Direction des affaires étrangères et économiques, BEP, 78 rue de varenne, 75007 Paris.